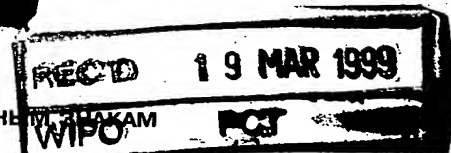




PCT/RU99/00042



РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ  
(РОСПАТЕНТ)  
**ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ ПРОМЫШЛЕННОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

рег. No 20/14-238(1)

RU99/42

"19" июня 1998 г.

**СПРАВКА**

Федеральный институт промышленной собственности Российского Агентства по патентам и товарным знакам настоящим удостоверяет, что приложенные материалы являются точным воспроизведением первоначального описания, формулы и чертежей (если имеются) заявки на выдачу патента на изобретение N 98104687, поданной в марте месяце 12 дня 1998 года.

**Название изобретения:** Ультрамалоугловая рентгеновская томография.

**Заявитель (и):** ЗАО «Кванта Инвест».

**Действительные авторы:** КОМАРДИН Олег Валентинович,  
ЛАЗАРЕВ Павел Иванович.

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Уполномоченный заверить копию  
заявки на изобретение

Г.Ф.Востриков  
Заведующий отделом

BEST AVAILABLE COPY

## Ультрамалоугловая рентгеновская томография

Изобретение относится к устройствам компьютерной томографии, основанным на поглощении и ультрамалоугловом рассеянии рентгеновского излучения.

Метод компьютерной томографии (КТ) был разработан английской фирмой «ЕМJ» в 1973 г. (Hounsfield G.N. Computerized transverse axial scanning (tomography). Part 1 Description of system.-«Brit.J.Radiol» 1973, v.46, p.1016-1022; Ambrose J. Computerized transverse axial scanning (tomography). Part 2 Clinical application.-«Brit.J.Radiol.» 1973, v.46, p.1023-1047), он сочетает физические принципы традиционного рентгеновского просвечивания с последними достижениями математики и цифровой техники. Существо метода компьютерной томографии сводится к реконструкции внутренней пространственной структуры объекта в результате совместной математической обработки теневых проекций, полученных при рентгеновском просвечивании объекта в различных направлениях. Контраст каждой теневой проекции является следствием неодинакового поглощения рентгеновских лучей различными частями объекта. Принцип действия томографа, в основу которого был положен метод компьютерной томографии, состоит в следующем. Прямоугольный рентгеновский пучок, сформированный коллиматором, проходит через неподвижный объект на 2 детектора (кристаллы йодистого натрия). Детектор регистрирует количество излучения, прошедшего через объект, и система рентгеновская трубка - детекторы смещается на шаг параллельно самой себе. Таких смещений производится 160. Далее система возвращается в исходное положение, поворачивается на угол  $1^\circ$  и вновь производится сканирование по 160 отрезкам. Всего система совершает 180 таких поворотов. Время поворота системы, т.е. время получения полной информации - примерно 5 мин. При этом с каждого детектора снимается 288000 ( $160 \times 180$ ) показаний. Полученная информация обрабатывается вычислительным устройством. Реконструированное компьютерное изображение слоя передается на счетно-печатающее устройство, которое выдает цифровую запись коэффициентов поглощения по всему полю полученного сечения тела.

В дальнейшем усовершенствование КТ шло по пути увеличения количества детекторов. Компьютерные томографы III и IV поколений содержат от 512 до 4800 детекторов. При наличии от 512 до 1400 детекторов и ЭВМ

большой емкости, время сканирования одного среза (2-8 мм) уменьшилось до 2-5 с, что практически позволило исследовать все органы и ткани организма.

Сканирующая система современного компьютерного томографа включает рентгеновскую трубку и детекторную систему. В аппаратах III поколения рентгеновская трубка и детекторы расположены на одной раме. Детекторная система состоит из 256-512 полупроводниковых элементов или ксеноновых детекторов. При сканировании пациента комплекс «рентгеновская трубка - детекторы» совершает вращение вокруг пациента на  $360^\circ$  за один цикл. При вращении комплекса рентгеновская трубка через  $1^\circ$ ,  $0,5^\circ$  и  $0,25^\circ$  дает импульсное излучение в виде веерообразного пучка, проходящего через объект, при этом осуществляется регистрация ослабленного объектом излучения детекторной системой. Сканирующая система при необходимости может наклоняться вперед и назад на  $20^\circ$ - $25^\circ$ .

В компьютерных томографах IV поколения детекторная система имеет от 1400 до 4800 детекторов, которые расположены по кольцу на раме. Во время сканирования вращается вокруг пациента только рентгеновская трубка. Стол томографа состоит из основания и подвижной части, на которой крепится ложе-транспортёр для укладки пациента. Горизонтальное перемещение пациента при сканировании производится в автоматическом режиме.

Рентгеновская система томографа состоит из трубки и генератора. Трубка работает в импульсном режиме при напряжении 100-130 кВ. Поглощение мягкого компонента рентгеновского излучения осуществляется фильтрацией, на выходе трубки имеется диафрагма, ограничивающая поток проникающего излучения, падающего на объект.

Как отмечалось, в основе всех описанных выше устройств лежит принцип различного поглощения рентгеновского излучения разными материалами. Поэтому при исследовании тела, состоящего из веществ, различающихся по составу и/или структуре, но имеющих близкий или одинаковый коэффициент поглощения рентгеновских лучей, устройство, работающее на описанном выше принципе, не сможет различить такие вещества, т.е. восстановленное изображение не будет содержать информации о них. Поэтому в подобных случаях необходим другой подход к получению изображения, основанный на принципах, отличных от рентгенографии поглощения, на другом типе взаимодействия рентгеновского излучения с веществом.

В патенте EP 0784202, 1997 описан компьютерный томограф, основанный на рентгеновском фазово-контрастном методе, в котором используется эффект преломления рентгеновских лучей на границе областей объекта, имеющих различную электронную плотность. Это приводит к отклонению рентгеновских лучей на углы до нескольких секунд. В предложенном устройстве падающий на объект поток излучения формируется с помощью монокристалла в виде параллельного пучка с малой угловой расходимостью. При прохождении такого пучка через объект, содержащий вещества с различной электронной плотностью, на границе их раздела поток излучения отклоняется в результате рефракции на указанный выше угол. Это отклонение фиксируется при повороте установленного за объектом кристалла-анализатора с помощью детектора.

К недостаткам фазово-контрастного метода можно отнести то, что он характеризует не само вещество, а границу раздела двух веществ, обладающих разными коэффициентами преломления рентгеновских лучей. Формирование потока проникающего излучения осуществляется по двухкристальной схеме, что накладывает ограничения на эффективность использования энергии источника излучения. Это обусловлено тем, что монокристалл отражает падающее на него излучение по закону Брэгга. Излучение каждой длины волны отражается под определенным углом в интервале расходимости, равном угловому интервалу отражения Брэгга, которое составляет порядка 10 угловых секунд. Т.е., что из всего излучения, производимого источником, для просвечивания объекта используется менее, чем  $10^{-5}$  его энергии. Это приводит к возрастанию времени экспозиции. Использование двухкристальной схемы вносит ограничения на размеры исследуемой области объекта, которая определяется размерами кристаллов, или требуется сложная система сканирования для получения изображения всего объекта.

Отмеченные недостатки удастся избежать при использовании метода регистрации когерентно рассеянного объектом излучения для восстановления томографического изображения. В патенте US 4752722, G01N 23/22, 1988 описано устройство, основанное на принципе регистрации углового распределения когерентно рассеянного излучения, лежащего в углах от  $1^\circ$  до  $12^\circ$  по отношению к направлению падающего пучка. Как указывается в этом патенте, большая часть упруго рассеянного излучения сосредоточена в углах меньше  $12^\circ$  и рассеянное излучение имеет характерную угловую зависимость с ярко выраженными максимумами, положение которых определяется как самим

облучаемым веществом, так и энергией падающего излучения. Поскольку распределение интенсивности когерентно рассеянного излучения в малых углах зависит от молекулярной структуры вещества, то различные вещества, имеющие одинаковую поглощающую способность (которые не могут быть различимы при обычном просвечивании), могут различаться по характерному для каждого из веществ распределению интенсивности углового рассеяния когерентного излучения. Для облучения объекта предлагается использовать узкий коллимированный пучок монохроматического или полихроматического излучения. Измерение интенсивности когерентно рассеянного излучения проводят с помощью детектирующей системы с разрешением как по энергии, так и по координате (углу рассеяния). Детектор регистрирует интенсивность когерентно рассеянных лучей, выходящих за границы первичного пучка в зоне рассеяния. Для получения изображения объекта предлагается использовать известные принципы компьютерной томографии. При этом одновременно с рассеянным осуществляется регистрация поглощенного излучения, что позволяет для каждой области исследуемого объекта учитывать его оптическую толщину на пути просвечивающего пучка, т.е. получать нормированную кривую когерентно рассеянного излучения.

Описанное устройство имеет сравнительно низкую чувствительность к излучению, рассеянному в непосредственной близости от первичного пучка, поскольку интенсивность излучения первичного пучка значительно превосходит интенсивность рассеянного излучения и мешает его регистрации. Кроме того, интенсивность излучения резко падает с увеличением угла рассеяния, поэтому интенсивность когерентно рассеянного излучения в угловом диапазоне 1-12 градусов невелика, а, следовательно, требуются достаточно высокие дозы облучения при обследовании объекта и длительное время экспозиции.

Задачей описываемого изобретения является создание устройств, которые, во-первых, более чувствительны к регистрации когерентно рассеянного излучения на ультрамалые углы (от десятков секунд до одного градуса) и, во-вторых, требуют меньших доз облучения при обследовании объекта.

Как известно, основная часть когерентно рассеянного излучения сосредоточена в области центрального пика дифракции, который лежит в углах рассеяния от 0 до 1 градуса по отношению к направлению падения первичного пучка. В этом угловом диапазоне сосредоточено характерное излучение, когерентно рассеянное неоднородностями электронной структуры объекта,

имеющими размеры от нескольких сотен до десятков тысяч ангстрем, что отвечает структуре многих органических и биологических объектов. Поэтому именно в этом угловом интервале предлагается измерять распределение когерентно рассеянного излучения. Угловой диапазон, в котором проводится измерение когерентного рассеяния, зависит от длины волны используемого излучения и структурных свойств материала и может находиться в пределах от нескольких угловых секунд до 1 градуса относительно падающего пучка излучения. В изобретении предлагается использовать темнопольную схему измерения когерентно рассеянного излучения на ультрамалые углы (от 0 до 1 градуса), т.е. когда в отсутствии исследуемого объекта детектор регистрирует только фоновый сигнал, а при наличии исследуемого объекта - рассеянное излучение. Такая схема является более чувствительной к рассеянному излучению по сравнению со светлопольной схемой, описанной в патенте US 4752722, G01N 23/22, 1988. Поскольку малоугловое рассеяние рентгеновских лучей отражает внутреннюю структуру вещества (распределение электронной плотности), то регистрируя кривую малоуглового рассеяния рентгеновских лучей исследуемым объектом, т.е. зависимость интенсивности рассеянных лучей от угла рассеяния, можно восстановить картину распределения электронной плотности в просвечиваемом объекте. Если объект не является однородным, (т.е. состоит из различных веществ), то интенсивность рассеянного излучения под каждым отдельным углом складывается из интенсивностей лучей, рассеянных различными веществами на пути распространения пучка проникающего излучения. При просвечивании исследуемого объекта с различных направлений регистрируют картину рассеяния излучения для каждого из этих направлений и методами компьютерной томографии восстанавливают кривую малоуглового рассеяния (распределение электронной плотности) для каждой отдельной области объекта и, как конечный результат, картину распределения электронной плотности во всем объекте, т.е. объемное изображение внутренней структуры объекта.

Описанный выше принцип получения изображения внутренней структуры объекта может быть реализован в различных вариантах устройств. Основным принципом создания таких устройств является одновременная регистрация поглощенного и рассеянного объектом под ультрамалыми углами (от нескольких угловых секунд до градуса) излучения.

Устройством, в котором решается поставленная в изобретении задача, является малоугловой рентгеновский томограф, включающий в себя источник рентгеновского излучения, коллиматор, формирующий поток проникающего излучения в виде узкого веерообразного пучка (или нескольких пучков), имеющего малую угловую расходимость, расположенный за объектом пространственный фильтр, и детектор, регистрирующий излучение, прошедшее через исследуемый объект. Источник излучения, коллиматор, пространственный фильтр и детектор имеют возможность перемещаться вокруг исследуемого объекта с целью просвечивания его с различных направлений. В устройство также входит система обработки информации, позволяющая реконструировать изображение внутренней структуры исследуемого объекта по данным рассеяния и поглощения проникающего излучения объектом при просвечивании его с различных направлений.

Система коллиматор - пространственный фильтр - детектор должна быть устроена таким образом, чтобы иметь возможность одновременно регистрировать рассеянное излучение, и излучение прошедшее через объект без рассеяния, для каждой просвечиваемой области объекта.

Коллиматор должен формировать пучки проникающего излучения шириной и угловой расходимостью в одном направлении такой, чтобы иметь возможность регистрировать рассеянное излучение в ультрамалоугловом диапазоне, т.е. чтобы любой рассеянный объектом под малым углом  $\alpha$  луч первичного пучка выходил за границы первичного пучка в зоне регистрации ( $\alpha$  - может быть несколько угловых секунд), в другом направлении формируемый коллиматором пучок должен перекрывать всю исследуемую область объекта.

Конструктивно коллиматор может быть выполнен в виде набора щелевых диафрагм, расположенных друг за другом, в виде двух непрозрачных для излучения пластин и зазора между ними, по схеме Кратки и т.д. (Бекренев А.И., Терминасов Ю.С., Аппаратура и методы рентгеновского анализа, 1980, вып.24, стр.100-108; Schelten, W.Hendricks, Appl. Cryst., 1978, 11, p. 297-324). Для формирования пучков микронной и субмикронной толщины с угловой расходимостью несколько угловых минут возможно использование бесщелевого коллиматора. Принцип работы такого коллиматора основан на эффекте прохождения рентгеновских лучей по границе раздела двух плоских полированных поверхностей пластин при многократном полном внешнем отражении (Лейкин В.Н., Мингазин Т.А., Приборы и техника эксперимента, 1984, №2, стр.200-203). Могут быть также

использованы другие конструкции коллиматоров, удовлетворяющие перечисленным выше условиям. Форма и размеры пучка проникающего излучения, формируемого коллиматором, определяются характером исследуемого объекта.

Регистрирующее устройство представляет собой позиционно-чувствительный датчик рентгеновского излучения, позволяющий измерять интенсивность рассеянного излучения. Это может быть любой пространственно-чувствительный двухкоординатный детектор, обладающий требуемым пространственным разрешением и чувствительностью к падающему излучению. Предпочтительно, чтобы это был детектор с высоким пространственным разрешением. Чувствительность детектора определяет требуемую мощность источника излучения и скорость сканирования объекта.

Между исследуемым объектом и детектором находится пространственный фильтр. Он располагается таким образом, чтобы перекрывать первичный пучок излучения и обеспечивать прохождение на детектор когерентно рассеянного на ультрамалые углы вблизи границ первичного пучка излучения. Участки пространственного фильтра, перекрывающие прозрачные участки коллиматора, выполнены из материала, непрозрачного для падающего излучения и имеющего низкий собственный фон рассеяния. Края пространственного фильтра имеют форму, обеспечивающую низкий уровень рассеяния на них падающего излучения. С целью определения величины интенсивности излучения в первичном пучке, прошедшем через объект, на непрозрачных участках пространственного фильтра располагается ряд детекторов, которые измеряют интенсивность падающего излучения и не препятствуют прохождению рассеянного объектом излучения через прозрачные участки пространственного фильтра.

Пространственный фильтр может располагаться сразу за исследуемым объектом. Это позволяет уменьшить общий уровень шума при регистрации рассеянного излучения, за счет экранирования излучения первичного пучка, рассеянного на воздухе и элементах устройства. Однако, это требует высокой точности установки пространственного фильтра относительно первичного пучка. Пространственный фильтр может быть расположен непосредственно перед детектором, регистрирующим рассеянное излучение, или занимать какое-либо промежуточное положение между исследуемым объектом и детектором.



Все данные, полученные при просвечивании исследуемого объекта с различных направлений, поступают в систему обработки информации. При обработке данных когерентно рассеянного излучения учитывается оптическая толщина объекта на пути просвечивающего пучка. Для восстановления изображения объекта по поглощенному и рассеянному излучению используются известные принципы компьютерной томографии.

Другой вариант схемы описанного выше устройства позволяет более эффективно использовать излучение источника. Он содержит источник проникающего излучения, коллиматор, формирующий падающий на объект поток излучения в виде нескольких узких малорасходящихся пучков, расположенный за объектом пространственный фильтр и позиционно-чувствительный детектор. Коллиматор выполнен в виде регулярной периодической структуры, представляющей собой прозрачные для излучения участки в виде щелей или каналов и чередующиеся с ними непрозрачные участки.

Формируемые лучи перекрывают отдельную полосу в проекции объекта. Пространственный фильтр представляет собой подобную коллиматору регулярную периодическую структуру, в которой участки, соответствующие прозрачным участкам коллиматора, выполнены из непрозрачного для проникающего излучения материала так, что непрозрачные участки фильтра перекрывают прозрачные участки коллиматора. При этом размеры каналов (или щелей) и период структуры коллиматора, а также размеры прозрачных участков пространственного фильтра должны обеспечить регистрацию на позиционно-чувствительном детекторе рассеянного под ультрамалыми углами излучения. Расположенные на непрозрачных участках пространственного фильтра детекторы позволяют определять интенсивность излучения первичных пучков, прошедших через объект. Форма и расположение каналов может быть различной: например, щели, круглые отверстия, расположенные в гексагональной упаковке и т.д., что определяется характером исследуемых в данной установке объектов. Общими требованиями, предъявляемыми к такому типу коллиматоров, являются следующие: во-первых, линии поверхностей, образующих прозрачные каналы, должны сходиться на фокусном пятне источника с целью увеличения эффективности использования лучевой энергии установки, при этом излучение в различные каналы коллиматора может попадать из разных областей фокусного пятна источника (возможность использования мощных широкофокусных источников излучения); во-вторых,

коллиматор должен формировать лучки, шириной и расходимостью  $\gamma$  такой, чтобы иметь возможность регистрировать рассеянное в малоугловом диапазоне излучение, т.е. чтобы любой рассеянный объектом под малым углом  $\alpha$  луч выходил за границы первичного пучка в зоне регистрации; в-третьих, период структуры коллиматора должен быть такой, чтобы соседние лучки не перекрывались друг с другом в плоскости детектора, что позволяет регистрировать рассеяние на малые углы вплоть до угла  $\beta$  ( $\alpha$  и  $\beta$  - углы, определяющие регистрируемый малоугловой диапазон:  $\alpha$  может быть 5 угловых секунд и больше,  $\beta$  - до 1 градуса).

Для выполнения этих требований вход и выход коллиматора должны быть разнесены на расстояние, значительно превышающее размеры апертуры коллиматора. Конструктивно щелевой коллиматор может быть выполнен в виде чередующихся непрозрачных для излучения пластин и зазоров между ними или в виде двух диафрагм - с одной или несколькими щелями на входе и многощелевой на выходе - расположенных должным образом и т.д.. Аналогично, коллиматор, имеющий прозрачные для излучения каналы с круглой апертурой, может быть выполнен конструктивно в виде капиллярного жгута или двух диафрагм: входной диафрагмы с одним или несколькими отверстиями и выходной - с многими отверстиями.

Пространственный фильтр является ответной регулярной периодической структурой для коллиматора, т.е. он устроен таким образом, что задерживает прямые лучки, сформированные коллиматором, и пропускает без помех излучение, рассеянное в плоскости объекта под малыми углами в угловом диапазоне от  $\alpha$  до  $\beta$ . Конструктивное выполнение пространственного фильтра должно соответствовать используемому коллиматору: для линейного коллиматора пространственный фильтр должен быть выполнен в виде линейного раstra, для коллиматора с плотной упаковкой цилиндрических каналов - в виде раstra с круглыми отверстиями и гексагональной ячейкой.

Другой вариант устройства предусматривает использование пространственного фильтра, полупрозрачного для падающего излучения. В этом случае пространственный фильтр выполнен из материала, имеющего низкий собственный уровень рассеяния излучения и ослабляющего интенсивность излучения, прошедшего через объект, в известное число раз, до уровня интенсивности рассеянного излучения. Предпочтительно, чтобы интенсивность излучения на границе первичного пучка, ослабленная пространственным фильтром, была на порядок меньше, чем интенсивность

излучения, рассеянного объектом на ультрамалые углы, вблизи границы первичного пучка. В этом случае позиционно-чувствительный детектор, расположенный за пространственным фильтром, одновременно регистрирует интенсивность излучения в первичном пучке и излучения, рассеянного объектом на ультрамалые углы.

Другой вариант устройства для компьютерной томографии дает возможность определять рассеивающие свойства исследуемого объекта, начиная с углов рассеяния в несколько секунд, что позволяет чувствовать структурные элементы с большим периодом и значительно уменьшить дозу облучения объекта. Сущность физического метода, используемого в описываемом устройстве для регистрации излучения, рассеянного на малые углы, заключается в следующем: пучок проникающего излучения, имеющий в сечении точечную или штриховую форму, регистрируется высокоразрешающим позиционно-чувствительным детектором. Распределение интенсивности излучения в плоскости детектора будет определяться оптической передаточной функцией устройства. При помещении объекта в устройство полная оптическая передаточная функция устройства, а, следовательно, и распределение интенсивности излучения в плоскости детектора изменится. Изменение формы распределения интенсивности излучения будет определяться функцией рассеяния объекта.

В качестве одного из вариантов устройства, работающего на этом принципе, может быть использована система, состоящая из источника рентгеновского излучения, одного или нескольких коллиматоров, каждый из которых формирует излучение в виде плоского веерного пучка, имеющего в одном направлении угловое распределение интенсивности, по форме близкое к  $\delta$ -функции, и в другом - перекрывающего всю исследуемую область объекта, и высокоразрешающего двухкоординатного детектора. Высокоразрешающий детектор измеряет распределение интенсивности излучения в рентгеновском пучке при наличии и в отсутствии объекта. Для обеспечения точности измерений необходимо, чтобы размеры отдельных чувствительных элементов детектора были меньше полуширины распределения интенсивности рентгеновского пучка в плоскости регистрации, предпочтительно меньше на порядок. Детектор должен регистрировать угловое распределение интенсивности в первичном пучке вплоть до угла в несколько десятков минут. Такой способ измерений позволяет регистрировать рассеянные под

ультрамалыми углами рентгеновские лучи, не только выходящие за границы пучка, но и те, что приводят к перераспределению интенсивности излучения внутри пучка. Чтобы иметь возможность сравнивать незначительные изменения больших сигналов при обработке данных, полученные распределения интенсивности излучения в пучке при наличии и в отсутствии объекта нормируют на общую интенсивность падающего и прошедшего через объект излучения, соответственно. Таким образом, полученные данные приводятся к общим условиям, и изменение формы кривой распределения интенсивности излучения в пучке (разность нормированного пространственного распределения интенсивности) будет отражать функцию рассеяния среды, через которую проходит излучение, при этом одновременно определяется коэффициент поглощения среды.

Оптимальные условия регистрации при исследовании различных объектов могут быть осуществлены путем подбора жесткости, т.е. длины волны, используемого проникающего излучения. Чем мягче используемое излучение (больше длина волны), тем сильнее изменяется нормированная кривая распределения интенсивности в просвечивающем пучке за объектом, однако при этом возрастает доля излучения, поглощенного в объекте, и уменьшается сигнал на детекторе. Выбор оптимальных параметров проникающего излучения зависит от характера исследуемого объекта и в каждом случае осуществляется индивидуально. При использовании полихроматического источника излучения это может быть осуществлено либо подбором фильтра, вырезающего требуемый спектральный диапазон излучения, либо путем использования детектора, селективно-чувствительного к выделенному диапазону энергии регистрируемых квантов. В последнем случае на детекторе для каждого спектрального диапазона проникающего излучения регистрируется свое распределение интенсивности в пучке за объектом. Общим требованием к детекторам при такой схеме одновременной регистрации излучения, рассеянного и прошедшего через объект, является их способность измерять интенсивность излучения в широком динамическом диапазоне значений. Например интенсивность рассеянного излучения меньше интенсивности в прошедшем пучке в  $10^3$ - $10^5$  раз. Детектор должен измерять весь этот диапазон значений интенсивности излучения.

Другой вариант схемы позволяет определять рассеивающие и поглощающие свойства исследуемого объекта при использовании широкого

пучка проникающего излучения. Этот вариант схемы позволяет эффективнее использовать излучение источника. Он отличается тем, что коллиматор представляет собой многощелевую периодическую структуру, формирующую поток рентгеновского излучения в виде широкого пучка, промодулированного с высокой пространственной частотой. Детектор, имеющий высокое пространственное разрешение в плоскости регистрации, измеряет периодически модулированное распределение интенсивности излучения при наличии и в отсутствии объекта. Наличие объекта в устройстве приводит к изменению функции модуляции распределения интенсивности в плоскости детектора, что позволяет определять следующие параметры исследуемого вещества: уменьшение среднего значения интенсивности вдоль направления модуляции пучка определяет величину поглощения рентгеновского излучения различными частями объекта, а изменение глубины модуляции распределения интенсивности содержит в неявном виде функцию рассеяния объекта. Для обнаружения неоднородности в объекте, занимаемой исследуемым веществом, необходимо, чтобы период пространственной модуляции излучения в объекте был меньше размера самой неоднородности.

Чувствительность описываемой установки к регистрации интенсивности рассеянного излучения определяется пространственной частотой и глубиной модуляции падающего излучения и разрешением используемого детектора. Чем выше пространственная частота модуляции излучения и больше глубина модуляции, тем сильнее будет изменяться функция распределения интенсивности излучения при внесении объекта. Однако максимальные значения допустимой пространственной частоты модуляции излучения ограничены параметрами используемого модулятора и разрешением регистрирующих элементов. Пространственная чувствительность детектора должны быть меньше периода пространственной модуляции излучения, предпочтительно на порядок. Необходимо также, чтобы детектор был чувствителен к регистрации излучения в широком динамическом диапазоне значений интенсивности.

Во всех описанных выше устройствах может использоваться пучок проникающего излучения различной формы, в зависимости от характера исследуемого объекта. Например для исследования объектов, имеющих анизотропию рассеивающих свойств (анизотропную структуру) необходимо, чтобы устройство имело возможность регистрировать рассеяние объекта по крайней мере в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Для этого могут

быть использованы: точечный пучок просвечивающего излучения, два взаимно перпендикулярных плоских веерных пучка, имеющих одинаковое направление распространения и т.д..

Сущность изобретения поясняется следующими фигурами чертежей, где:

на фиг.1 показан один из вариантов томографической установки, в которой пучок проникающего излучения в направлении, перпендикулярном плоскости вращения оптической системы, полностью перекрывает исследуемую область объекта;

на фиг.2 изображено устройство, в котором перемещение системы "источник - коллиматор - пространственный фильтр - детектор" относительно объекта производится по спиральной траектории;

на фиг.3 показана схема томографа, в котором используется несколько идентичных систем "источник - коллиматор - пространственный фильтр - детектор";

на фиг.4 показана томографическая установка, в которой система "источник - коллиматор - детектор" перемещается по траектории, лежащей на поверхности сферы, расположенной вокруг исследуемой области объекта;

на фиг.5 показана одна из темнопольных схем одновременной регистрации малоуглового рассеянного излучения и излучения первичного пучка согласно данному изобретению;

на фиг.6 показана та же схема одновременной регистрации малоуглового рассеянного излучения и излучения первичного пучка с установленной на пути первичного пучка полупрозрачной ловушкой, понижающей уровень интенсивности в этом пучке до уровня интенсивности рассеянного излучения;

на фиг.7 показана схема с многощелевым коллиматором и пространственным полупрозрачным фильтром перед детектором,

на фиг.8 изображена другая схема одновременной регистрации малоуглового рассеянного излучения и излучения первичного пучка, в которой детектор измеряет распределение интенсивности излучения в первичном пучке за объектом;

на фиг.9 показана еще одна схема регистрации с пространственной модуляцией падающего на объект излучения.

Одним из вариантов устройства для получения картины распределения электронной плотности в исследуемом объекте является показанный на фиг.1 малоугловой томограф, включающий в себя источник 1 излучения, коллиматор

2, пространственно-чувствительный детектор 3 и расположенный между исследуемым объектом 4 и детектором 3 пространственный фильтр 5. Веерообразный пучок 6 проникающего излучения, формируемый коллиматором 2, имеет в одном направлении (плоскости вращения) ширину и угловую расходимость, обеспечивающие регистрацию малоуглового рассеяния, начиная с угла  $\alpha$  ( $\alpha$  - может быть несколько угловых секунд). В перпендикулярном направлении пучок перекрывает всю исследуемую область объекта. Рассеянное излучение 7 регистрируется детектором 3 в направлении, перпендикулярном плоскости пучка. Излучение 8 первичного пучка за объектом регистрируется линейкой детекторов 9, расположенных на пространственном фильтре 5. Разрешение структурных неоднородностей в исследуемом объекте в направлении, перпендикулярном плоскости веерного пучка, определяются шириной самого пучка; а в направлении вдоль плоскости пучка определяются размерами чувствительных элементов детектора. Система перемещения (на чертеже не показана) обеспечивает вращение источника, коллиматора, пространственного фильтра и детектора вокруг исследуемого объекта 4 на угол  $360^\circ$ . За один цикл измерений система осуществляет один или несколько оборотов, при этом под каждым из углов просвечивания объекта регистрируются прошедшее 8 и рассеянное 7 объектом излучение. Компьютерная система обрабатывает полученные данные и ставит в соответствие каждой области исследуемого объекта ее рассеивающие (распределение электронной плотности) и поглощающие свойства. В результате этого осуществляется реконструкция внутренней структуры объекта.

Другой вариант устройства, показанный на фиг.2, предусматривает создание трехмерного изображения внутренней структуры исследуемого объекта 4, имеющего значительные размеры в одном направлении. При этом оптическая система: источник 1, коллиматор 2, пространственный фильтр 5, детектор 3 - осуществляет спиральное перемещение относительно исследуемого объекта 4. Например, это может быть система источник 1, коллиматор 2, пространственный фильтр 5, детектор 3, аналогичная описанной выше, причем пространственный фильтр 5 выполнен из материала, полупрозрачного для проникающего излучения, который уменьшает интенсивность излучения в первичном пучке за объектом до уровня интенсивности излучения, рассеянного под малыми углами. Коллиматор 2 расположен таким образом, что плоскость формируемого им веерного пучка

лежит в плоскости вращения системы. Поперечные размеры просвечивающего пучка должны быть больше поперечных размеров любой области исследуемого объекта. Оптическая система расположена на жесткой раме 10, которая может поворачиваться вокруг исследуемого объекта на угол  $360^\circ$ . При вращении рамы 10 ложе-транспортёр 11, на котором располагается исследуемый объект 4, перемещается вдоль оси вращения. Пучок проникающего излучения последовательно просвечивает каждую область объекта со всех направлений ( $360^\circ$ ). Скорость перемещения объекта определяется скоростью вращения оптической системы и чувствительностью детектора 3. Выделение и обработка сигнала, отвечающего малоугловому рассеянию и прошедшему через объект излучению, осуществляется аналогично устройству, описанному выше.

Устройство, представленное на фиг.3, предусматривает наличие нескольких идентичных систем источник 1, коллиматор 2, пространственный фильтр 5, детектор 3, расположенных под разными углами относительно объекта 4. Например, это может быть устройство, включающее в себя три и более идентичные системы, аналогичные описанным выше, расположенные равномерно под разными углами в одной плоскости. Формируемые каждой из систем веерные пучки 6 лежат в одной плоскости, соответствующей плоскости расположения самих систем, и перекрывают всю исследуемую область объекта. Реконструкция внутренней структуры просвечиваемой области объекта осуществляется при сопоставлении данных, полученных от каждой из систем. Для получения трехмерного изображения внутренней структуры объекта, исследуемый объект и устройство перемещаются друг относительно друга. Например, это может быть перемещение устройства как целого (плоскости систем) в направлении продольной оси объекта 4. Выделение данных, соответствующих рассеянному и поглощенному в исследуемом объекте излучению, и реконструкция трехмерного изображения объекта осуществляется аналогично устройствам, описанным выше. Использование нескольких систем позволяет увеличить скорость получения данных об исследуемом объекте.

На фиг.4 показано устройство для компьютерной томографии, основанное на принципе реконструкции внутренней структуры объекта по данным рассеянного и поглощенного объектом излучения, состоящее из источника 1 излучения, коллиматора 2, высокоразрешающего позиционно-чувствительного детектора 3. Коллиматор формирует точечный или штриховой



пучок, просвечивающий исследуемую область объекта. При этом оптическая система: источник 1 излучения, коллиматор 2 и детектор 3 перемещаются по сложной траектории, лежащей на поверхности сферы, расположенной вокруг исследуемой области объекта 4. Формируемый коллиматором пучок должен отвечать условиям, необходимым для регистрации излучения, рассеянного под малыми углами, и одновременно регистрации прошедшего через объект излучения. Выделение данных, соответствующих рассеянному и поглощенному в исследуемом объекте излучению, происходит по одной из схем, описанных выше. Например, по определению изменения распределения интенсивности излучения в первичном пучке за объектом. При этом чувствительные элементы детектора 3 должны быть меньше полуширины распределения интенсивности рентгеновского пучка в плоскости регистрации, предпочтительно меньше на порядок. Количество проекций исследуемой области объекта, полученных при перемещении оптической системы устройства по траектории, должно быть достаточным для формирования трехмерного изображения распределения электронной плотности в этой области. После обработки компьютерная система формирует трехмерное изображение исследуемой области объекта. Такое устройство может быть, например, использовано для получения томограмм мозга.

На фиг.5-9 показаны различные варианты оптических схем одновременной регистрации излучения, рассеянного под малыми углами, и излучения первичного пучка за объектом.

В качестве одного из вариантов такой схемы (фиг.5) может быть использована система, состоящая из источника 1 рентгеновского излучения, коллиматора 2, выполненного, например, по схеме Кратки, формирующего излучение в виде плоского веерного пучка, шириной и угловой расходимостью, по крайней мере в одном направлении, такой, чтобы иметь возможность регистрировать рассеянное излучение в ультрамалоугловом диапазоне, в другом направлении формируемый коллиматором пучок должен перекрывать всю исследуемую область объекта 4, пространственного фильтра 5 и двухкоординатного позиционно-чувствительного детектора 3. На пространственном фильтре 5 размещены детекторы 9, измеряющие интенсивность излучения в первичном пучке за объектом. При этом детекторы 9 должны иметь такие размеры и быть расположены таким образом, чтобы не влиять на регистрацию двухкоординатным детектором 3 излучения 7 рассеянного объектом 4.

На фиг.6 представлен другой вариант схемы для одновременной регистрации излучения, рассеянного 7 и прошедшего 8 через объект 4. В этой схеме предусмотрено введение в канал прошедшего 8 через объект пучка пространственного фильтра 5, частично пропускающего излучение. Предпочтительно, чтобы интенсивность излучения на границах первичного пучка за пространственным фильтром 5 была на порядок меньше, чем интенсивность рассеянного излучения 7 вблизи границ первичного пучка. При этом функция рассеяния излучения объектом определяется непосредственно по данным, полученным с детектора 3, а интенсивность излучения, прошедшего через объект, вычисляется по известному коэффициенту поглощения излучения фильтром.

Еще один вариант схемы (фиг.7) для одновременной регистрации излучения, рассеянного 7 и прошедшего 8 через объект 4, может содержать источник 1 проникающего излучения, коллиматор 2, формирующий падающий на объект поток излучения в виде нескольких узких малорасходящихся пучков, расположенный за объектом пространственный фильтр 5 и позиционно-чувствительный детектор 3. Коллиматор 2 выполнен в виде регулярной периодической структуры, представляющей собой прозрачные для излучения участки в виде щелей или каналов и чередующиеся с ними непрозрачные участки.

Формируемые лучи перекрывают отдельную полосу в проекции объекта 4. Пространственный фильтр 5 представляет собой подобную коллиматору 2 регулярную периодическую структуру, в которой участки, соответствующие прозрачным участкам коллиматора, выполнены из полупрозрачного для проникающего излучения материала так, что полупрозрачные участки фильтра 10 перекрывают прозрачные участки коллиматора 2. При этом размеры каналов (или щелей) и период структуры коллиматора 2, а также размеры прозрачных участков пространственного фильтра 5 должны обеспечить регистрацию на позиционно-чувствительном детекторе 3 малоуглового рассеянного 7 излучения и, отдельно, ослабленного излучения, прошедшего 8 через объект 4. Форма и расположение каналов определяются характером исследуемых в данной установке объектов. Общими требованиями, предъявляемыми к такому типу коллиматоров, являются следующие: во-первых, линии поверхностей, образующих прозрачные каналы, должны сходиться на фокусном пятне источника с целью увеличения энергоотдачи установки, при этом излучение в различные каналы коллиматора 2 может попадать из разных областей

фокусного пятна источника 1 (использование мощных широкофокусных источников излучения); во-вторых, коллиматор должен формировать пучки шириной и расходимостью  $\gamma$  такой, чтобы иметь возможность регистрировать рассеянное в малоугловом диапазоне излучение, т.е., чтобы любой рассеянный объектом под малым углом  $\alpha$  луч выходил за границы первичного пучка в зоне регистрации; в-третьих, период структуры коллиматора должен быть такой, чтобы соседние пучки не перекрывались друг с другом в плоскости детектора, что позволяет регистрировать рассеяние на малые углы вплоть до угла  $\beta$  ( $\alpha$  и  $\beta$  - углы, определяющие регистрируемый малоугловой диапазон:  $\alpha$  может быть 5 угловых секунд и больше,  $\beta$  - до 1 градуса).

Конструктивно щелевой коллиматор может быть выполнен, например, в виде чередующихся непрозрачных для излучения пластин и зазоров между ними.

Пространственный фильтр малоуглового излучения является ответной регулярной периодической структурой для коллиматора, т.е. он устроен таким образом, что ослабляет прямые лучи, сформированные коллиматором, и пропускает без помех излучение, рассеянное в плоскости объекта под малыми углами в угловом диапазоне от  $\alpha$  до  $\beta$ . Конструктивное выполнение пространственного фильтра должно соответствовать используемому коллиматору: для линейного коллиматора пространственный фильтр должен быть выполнен в виде линейного раstra. Величина ослабления излучения прямого пучка определяется коэффициентом поглощения пространственного фильтра.

На фиг.8 представлена другая схема для одновременной регистрации малоуглового рассеянного излучения и излучения первичного пучка, в которой высокоразрешающий детектор 3 измеряет распределение интенсивности излучения в рентгеновском пучке при наличии 7 и в отсутствии 8 объекта 4. В этом случае коллиматор 2 формирует излучение источника 1 в виде плоского веерного пучка, имеющего в одном направлении угловое распределение интенсивности, по форме близкое к  $\delta$ -функции, и в другом - перекрывающего всю исследуемую область объекта. Для обеспечения точности измерений необходимо, чтобы размеры отдельных чувствительных элементов детектора были меньше полуширины распределения интенсивности рентгеновского пучка 8 в плоскости регистрации, предпочтительно меньше на порядок. Такой способ измерений позволяет регистрировать рассеянные 7 под малыми углами рентгеновские лучи, не только выходящие за границы пучка, но и те,

что приводят к перераспределению интенсивности излучения внутри пучка. Чтобы иметь возможность сравнивать незначительные изменения больших сигналов при обработке данных, полученные распределения интенсивности излучения в пучке при наличии и в отсутствии объекта нормируют на общую интенсивность падающего и прошедшего через объект излучения, соответственно. Таким образом, полученные данные приводятся к общим условиям, и изменение формы кривой распределения интенсивности излучения в пучке (разность нормированного пространственного распределения интенсивности) будет отражать функцию рассеяния среды, через которую проходит излучение. Общим требованием к детекторам при такой схеме одновременной регистрации излучения, рассеянного 7 и прошедшего 8 через объект, является их способность измерять интенсивность излучения в широком динамическом диапазоне значений.

Другой вариант схемы (фиг.9) позволяет определять рассеивающие и поглощающие свойства исследуемого объекта при использовании широкого пучка проникающего излучения. Этот вариант схемы позволяет эффективнее использовать излучение источника 1. Он отличается тем, что коллиматор 2 представляет собой многоселевую периодическую структуру, формирующую поток рентгеновского излучения в виде широкого пучка, промодулированного с высокой пространственной частотой. Детектор 3, имеющий высокое пространственное разрешение в плоскости регистрации, измеряет периодически модулированное распределение интенсивности излучения при наличии и в отсутствии объекта 4. Наличие объекта 4 в устройстве приводит к изменению функции модуляции распределения интенсивности в плоскости детектора 3, что позволяет определять следующие параметры исследуемого вещества: величину поглощения рентгеновского излучения различными частями объекта по уменьшению среднего значения интенсивности вдоль направления модуляции пучка, функцию рассеяния объекта по изменению глубины модуляции распределения интенсивности. Для обнаружения неоднородности в объекте, занимаемой исследуемым веществом, необходимо, чтобы период пространственной модуляции излучения в объекте был меньше размера самой неоднородности.

Чувствительность описываемой установки к регистрации интенсивности рассеянного излучения определяется пространственной частотой и глубиной модуляции падающего излучения и разрешением используемого детектора. Чем выше пространственная частота модуляции излучения и больше глубина

модуляции, тем сильнее будет изменяться функция распределения интенсивности излучения при внесении объекта. Однако максимальные значения допустимой пространственной частоты модуляции излучения ограничены параметрами используемого модулятора и разрешением регистрирующих элементов. Пространственная чувствительность детектора должна быть меньше периода пространственной модуляции излучения, предпочтительно, на порядок. Необходимо также, чтобы детектор был чувствителен к регистрации излучения в широком динамическом диапазоне значений интенсивности.

## Формула изобретения

1. Устройство для малоугловой компьютерной томографии, содержащее источник проникающего излучения, коллиматор, формирующий падающий на объект поток излучения в виде одного или нескольких узких, малорасходящихся, по крайней мере, в одном направлении пучков, координатно-чувствительный детектор, осуществляющий регистрацию когерентного излучения, рассеянного на малые углы, систему относительного перемещения комплекса «источник - коллиматор - детектор» и объекта, и компьютерную систему обработки информации, полученной с координатно-чувствительного детектора, отличающееся тем, что между объектом и координатно-чувствительным детектором установлен пространственный фильтр, отделяющий излучение, рассеянное объектом на ультрамалые углы относительно направления падающего пучка.
2. Устройство по п.1, отличающееся тем, что коллиматор выполнен в виде регулярной периодической структуры, представляющей собой прозрачные для излучения участки в виде щелей или каналов и чередующиеся с ними непрозрачные участки, и перекрывающий отдельную полосу в проекции объекта, пространственный фильтр представляет собой подобную коллиматору регулярную периодическую структуру, в которой участки, соответствующие прозрачным участкам коллиматора, выполнены из непрозрачного для излучения материала, а участки фильтра, перекрывающие непрозрачные участки коллиматора, выполнены прозрачными для проникающего излучения, на непрозрачных участках фильтра размещены детектирующие элементы для измерения прошедшего через объект излучения, при этом размеры каналов или щелей и периодические структуры коллиматора должны обеспечивать регистрацию на позиционно-чувствительном детекторе рассеянного под ультрамалыми углами излучения.
3. Устройство по п.1, отличающееся тем, что коллиматор выполнен в виде регулярной периодической структуры, представляющей собой прозрачные для излучения участки в виде щелей или каналов и чередующиеся с ними непрозрачные участки, и перекрывающей отдельную полосу в проекции объекта, перед детектором расположен пространственный фильтр, представляющий собой подобную коллиматору регулярную периодическую структуру, в которой участки, перекрывающие непрозрачные участки

коллиматора, выполнены прозрачными для проникающего излучения, а участки, перекрывающие прозрачные участки коллиматора - из материала, частично поглощающего излучение и снижающего интенсивность прошедшего через эти участки излучения до уровня рассеянного под малыми углами излучения, прошедшего на координатно-чувствительный детектор через прозрачные участки пространственного фильтра.

4. Устройство для малоугловой компьютерной томографии, содержащее источник проникающего излучения, коллиматор, формирующий падающий на объект поток излучения в виде одного или нескольких узких, малорасходящихся, по крайней мере, в одном направлении пучков, детектирующую систему, систему относительного перемещения комплекса «источник - коллиматор - детектор» и объекта и компьютерную систему обработки информации, полученной с координатно-чувствительного детектора, отличающееся тем, что детектирующая система является двухкоординатным позиционно-чувствительным детектором, установленным на таком расстоянии от объекта и имеющим такую пространственную чувствительность, которая позволяет регистрировать угловое распределение интенсивности по сечению прошедшего через объект пучка с пространственным разрешением уже полуширины распределения интенсивности в пучке в плоскости регистрации, при этом формируемый коллиматором каждый пучок в проекции объекта по крайней мере в одном направлении уже области, занимаемой контролируемым веществом в объекте.
5. Устройство для малоугловой компьютерной томографии, содержащее источник проникающего излучения, коллиматор, формирующий падающий на объект поток излучения в виде одного или нескольких узких, малорасходящихся, по крайней мере, в одном направлении пучков, детектирующую систему, систему относительного перемещения комплекса «источник - коллиматор - детектор» и объекта и компьютерную систему обработки информации, полученной с координатно-чувствительного детектора, отличающееся тем, что коллиматор представляет собой щелевидную структуру, формирующую набор узких, малорасходящихся пучков излучения в направлении исследуемого объекта, регистрация прошедшего через объект излучения осуществляется двухкоординатным пространственно-чувствительным детектором и связанным с детектором блоком обработки информации, при этом период многощелевой структуры

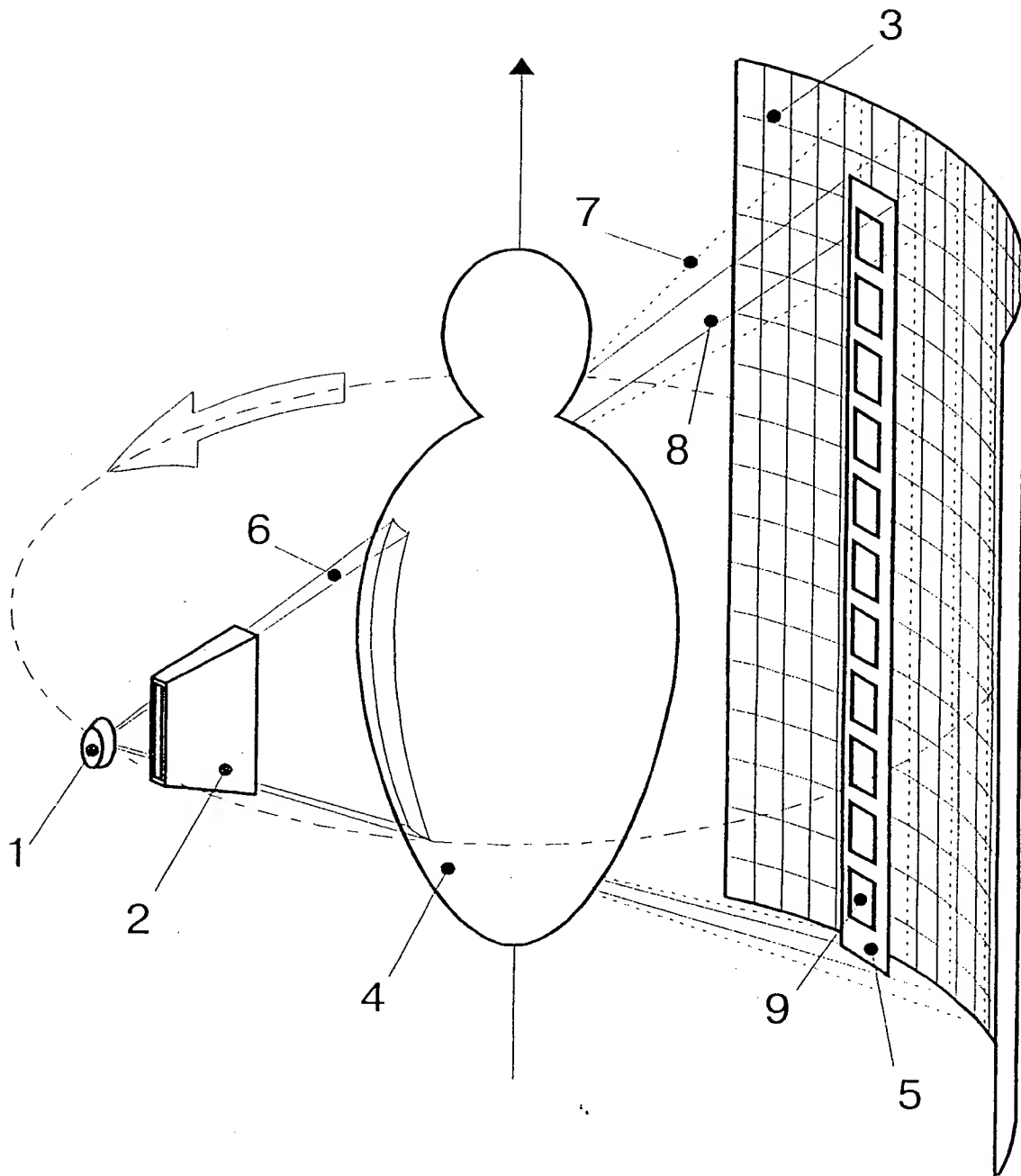
выбирается из условия обеспечения периода пространственной модуляции излучения по крайней мере в два раза меньшей размера области, занимаемой контролируемым веществом в объекте, и пространственного разрешения детектора меньше периода пространственной модуляции излучения в плоскости регистрации.

6. Устройство по одному из п.п.1-5, отличающееся тем, что каждый пучок перекрывает всю исследуемую область объекта в одном направлении, при этом комплекс «источник - коллиматор - детектор» выполнен с возможностью поворота относительно исследуемого объекта в плоскости, перпендикулярной плоскости веерного пучка, на угол  $360^\circ$ .
7. Устройство по одному из п.п.1-5, отличающееся тем, что комплекс «источник-коллиматор - детектор» выполнен с возможностью спирального перемещения относительно исследуемого объекта.
8. Устройство по одному из п.п.1-5, отличающееся тем, что коллиматор формирует точечный или штриховой в сечении пучок, при этом комплекс «источник-коллиматор - детектор» выполнен с возможностью перемещения по сложной траектории, лежащей на поверхности сферы, расположенной вокруг исследуемой области объекта.

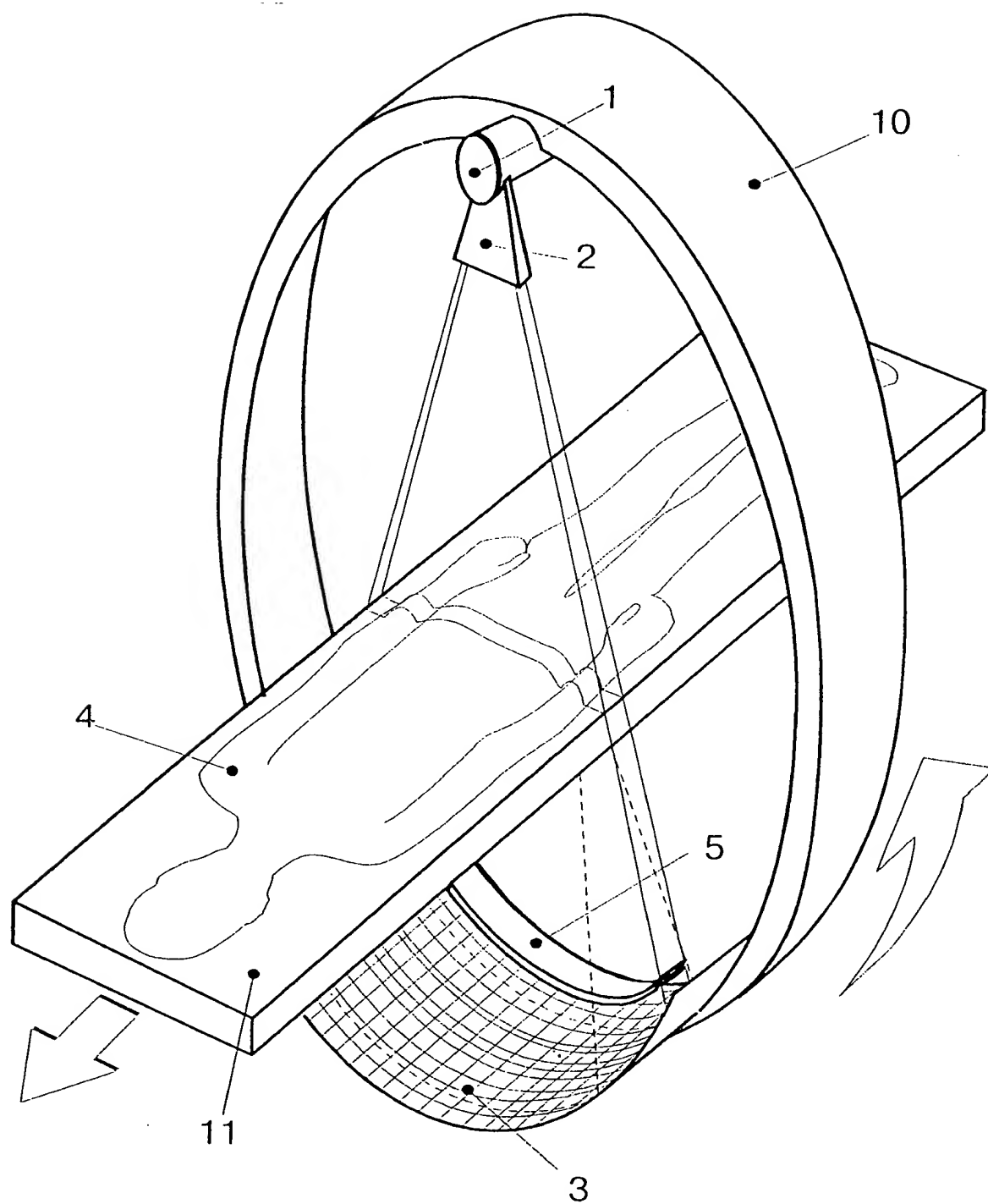


## Реферат

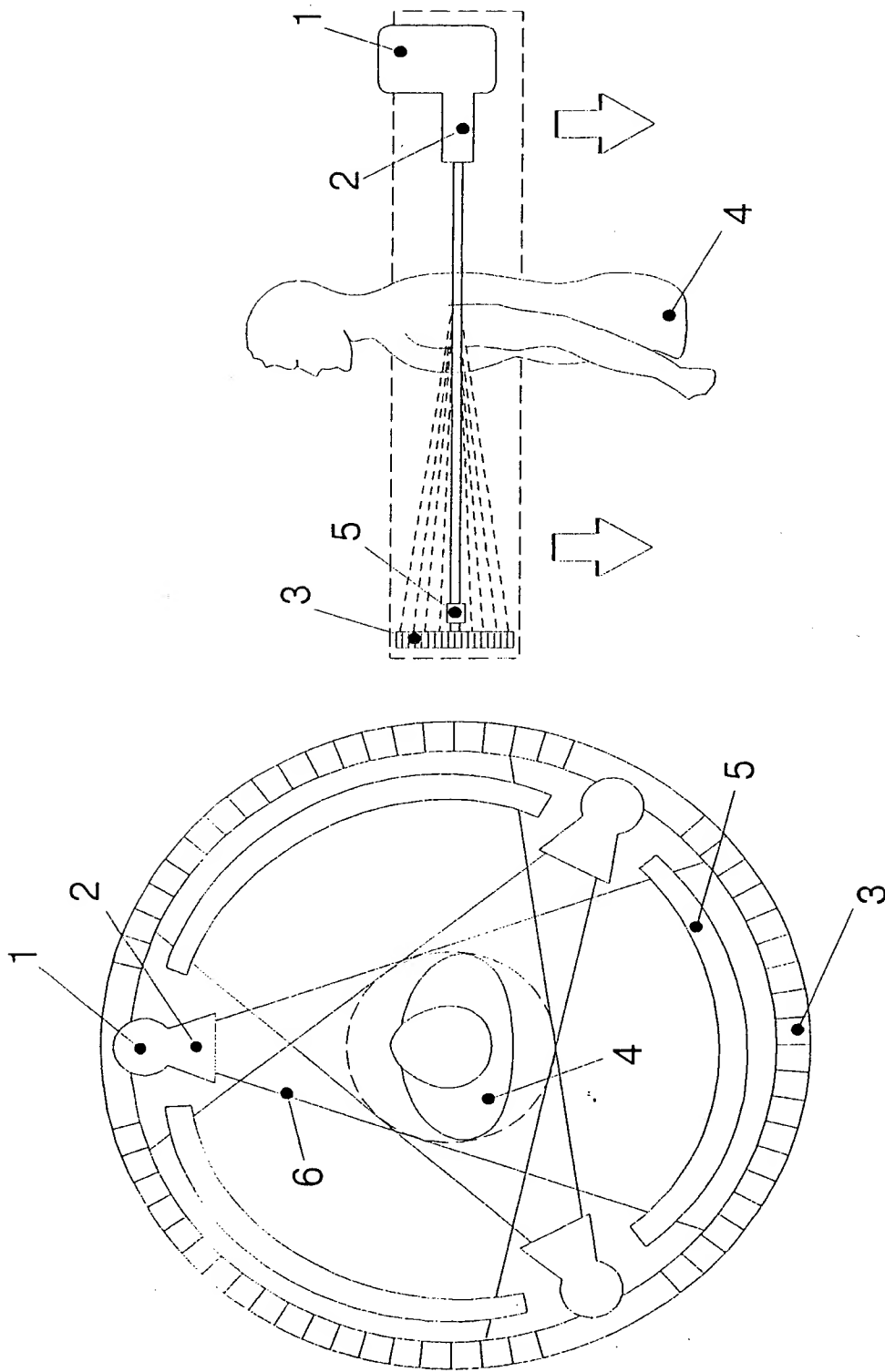
Изобретение относится к компьютерной томографии, основанной на получении изображения объекта по малоугловому рассеянному излучению. Регистрация рассеяния осуществляется в ультрамалые углы: от 0 до 1 градуса - относительно направления падающего пучка. Предложен ряд схем, позволяющих осуществлять регистрацию когерентного рассеяния в указанных углах. Формируемые коллиматором веерные пучки, имеющие малую расходимость, направляют на объект. В одном из вариантов устройства для отделения излучения, рассеянного на ультрамалые углы, предлагается использовать расположенный за объектом специальный пространственный фильтр, представляющий собой подобную коллиматору структуру, в которой прозрачные для излучения участки коллиматора перекрываются непрозрачными участками фильтра. При этом на установленный за фильтром пространственно-чувствительный детектор в отсутствие объекта излучение не проходит. При размещении между коллиматором и пространственным фильтром объекта детектор регистрирует рассеяние на ультрамалые углы излучения. Для регистрации излучения, прошедшего через объект в направлении первичного пучка, на непрозрачных участках фильтра устанавливаются детекторные элементы. Это позволяет, кроме томограммы в рассеянном излучении, получать томографическое изображение по поглощенному излучению. В другом варианте устройства участки фильтра, перекрывающие прозрачные участки коллиматора, выполнены частично поглощающими излучение, прошедшее через объект вдоль направления падающих пучков, и уменьшающими его до уровня интенсивности рассеянного излучения. Одна из предложенных схем устройства позволяет определять функцию рассеяния объекта в пределах первичного пучка. По данным рассеяния, полученным для разных ракурсов объекта относительно системы "источник - коллиматор - детектор", восстанавливают томографическое изображение объекта. 3 с.п. ф-лы, 9 илл.



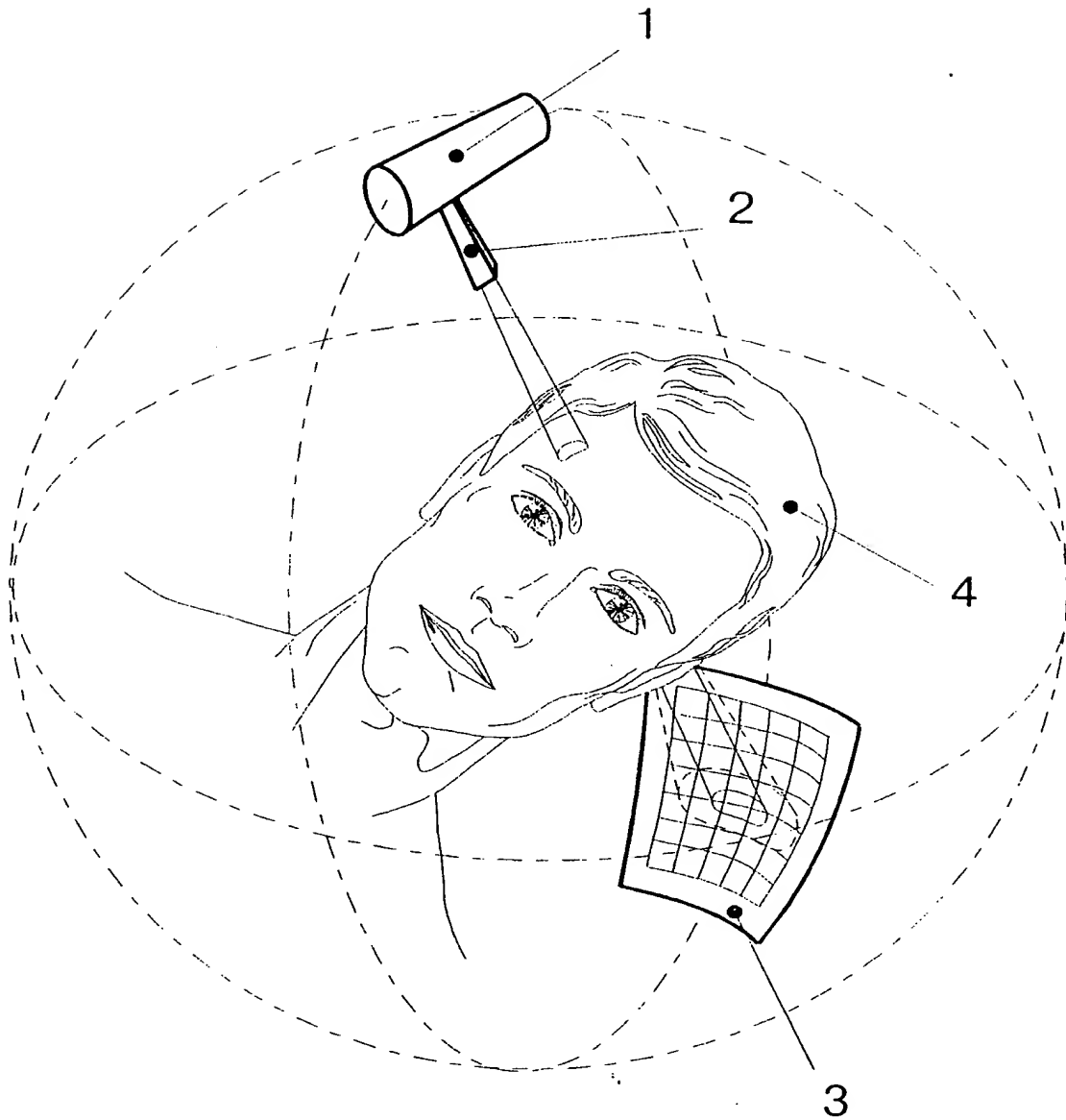
Фиг. 1



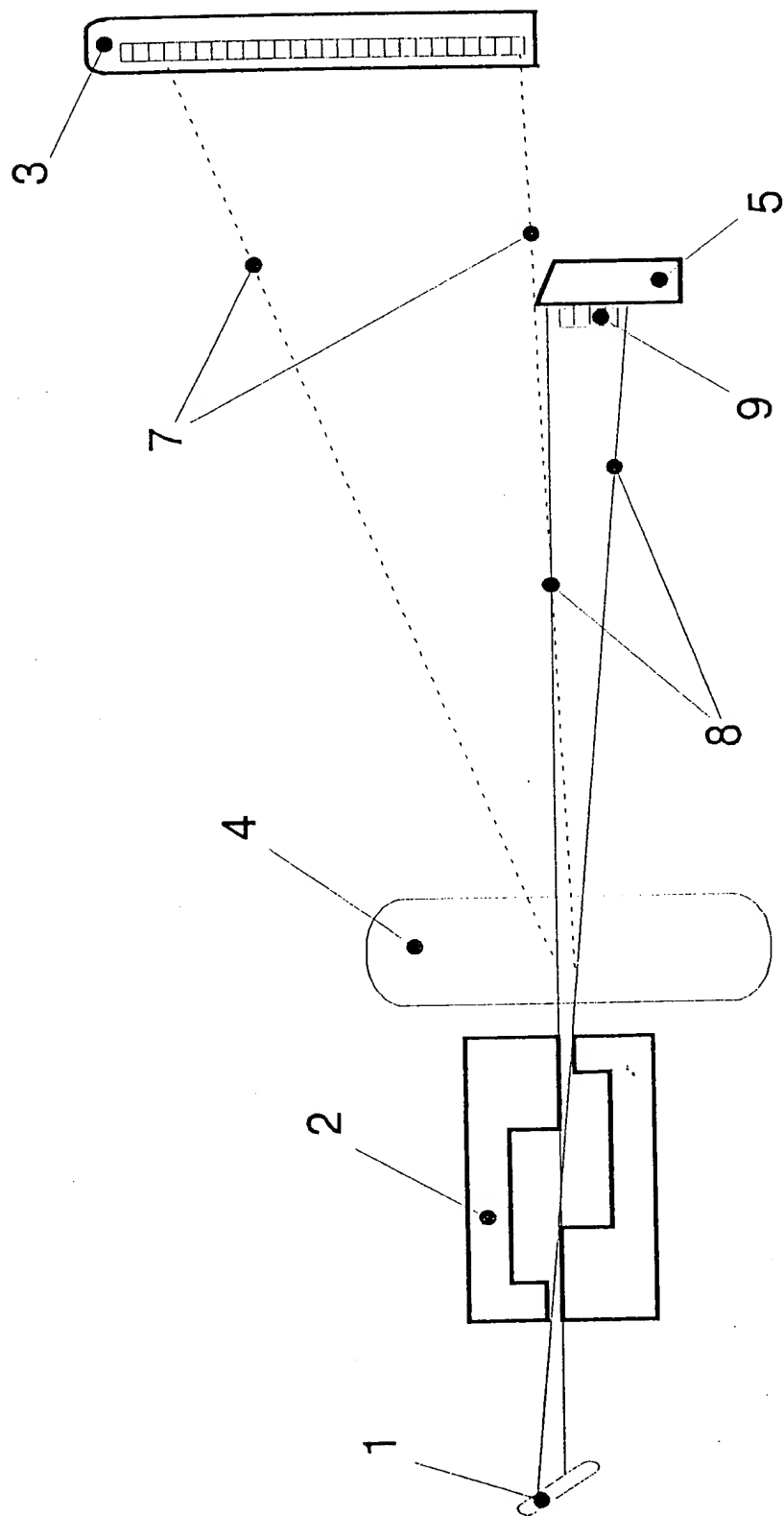
Фиг. 2



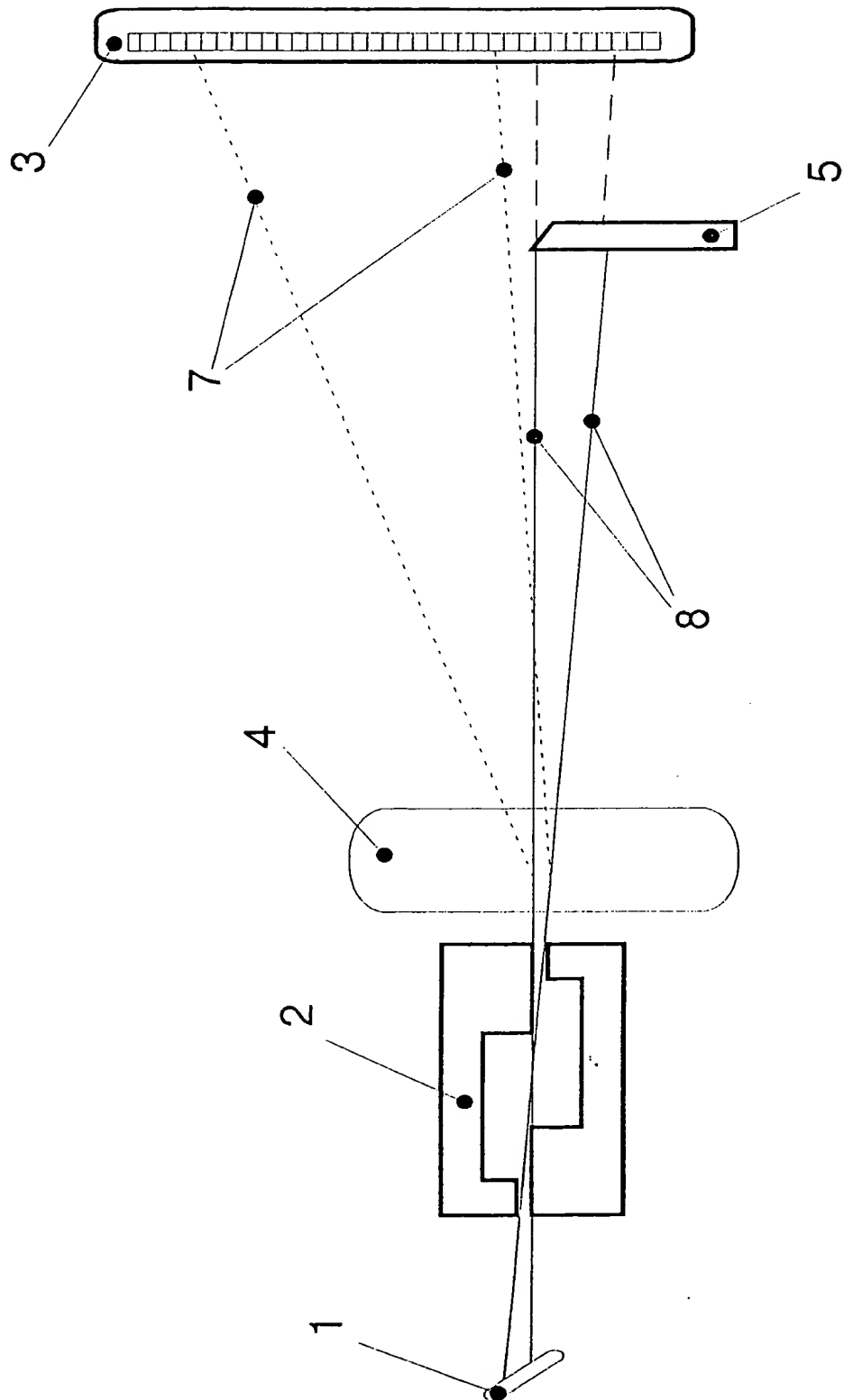
Фиг. 3



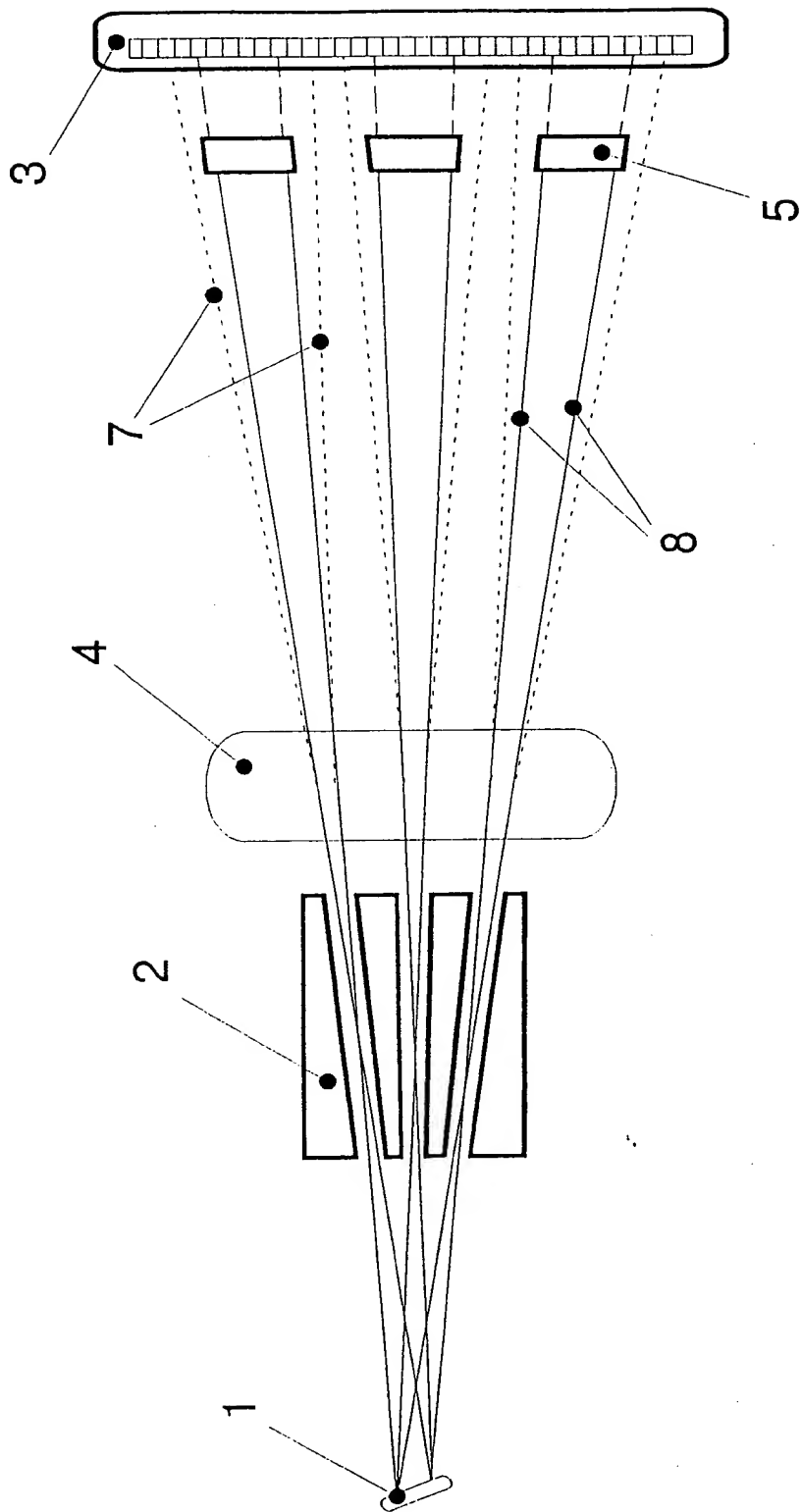
Фиг. 4



Фиг. 5

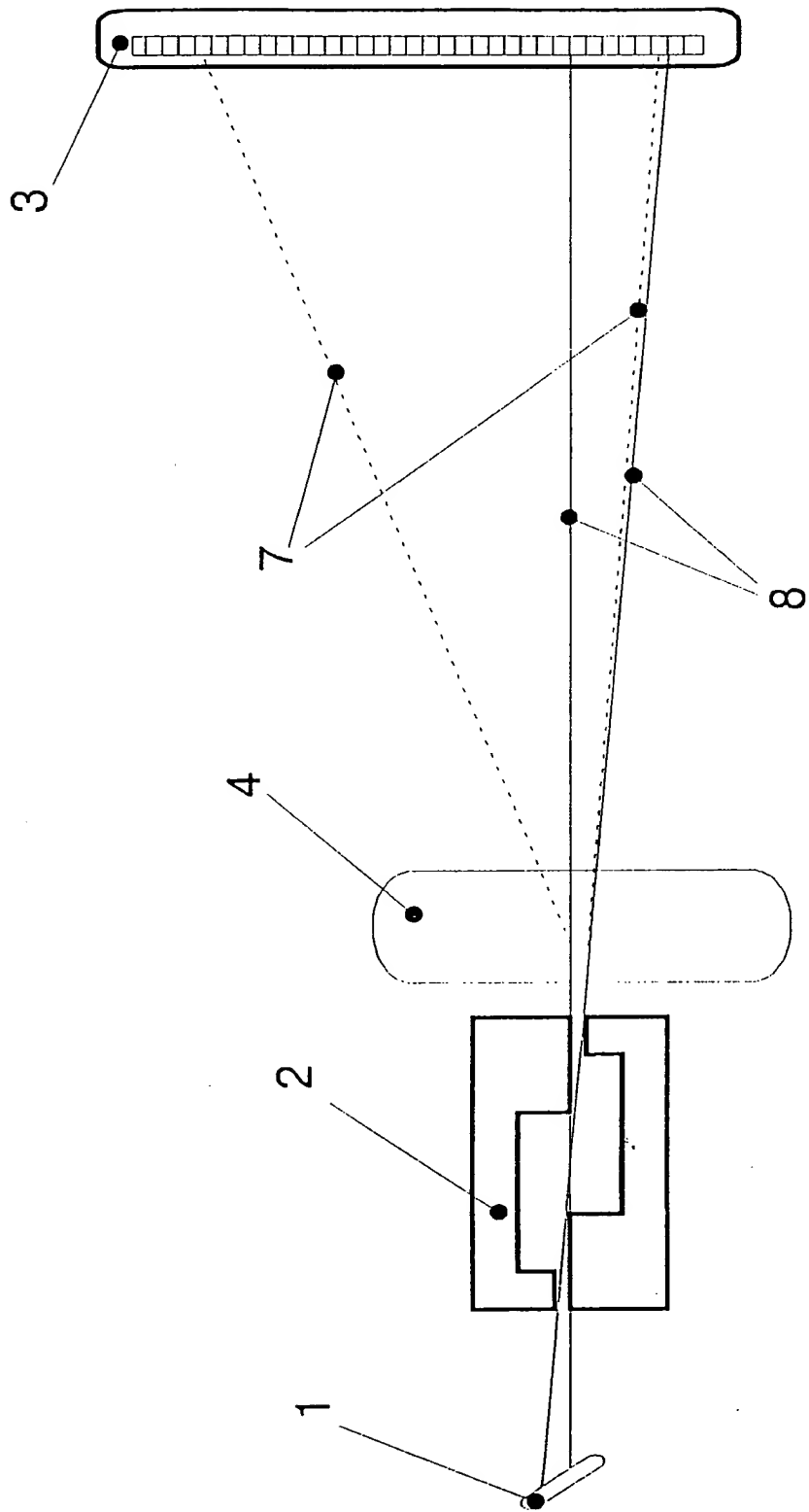


Фиг. 6

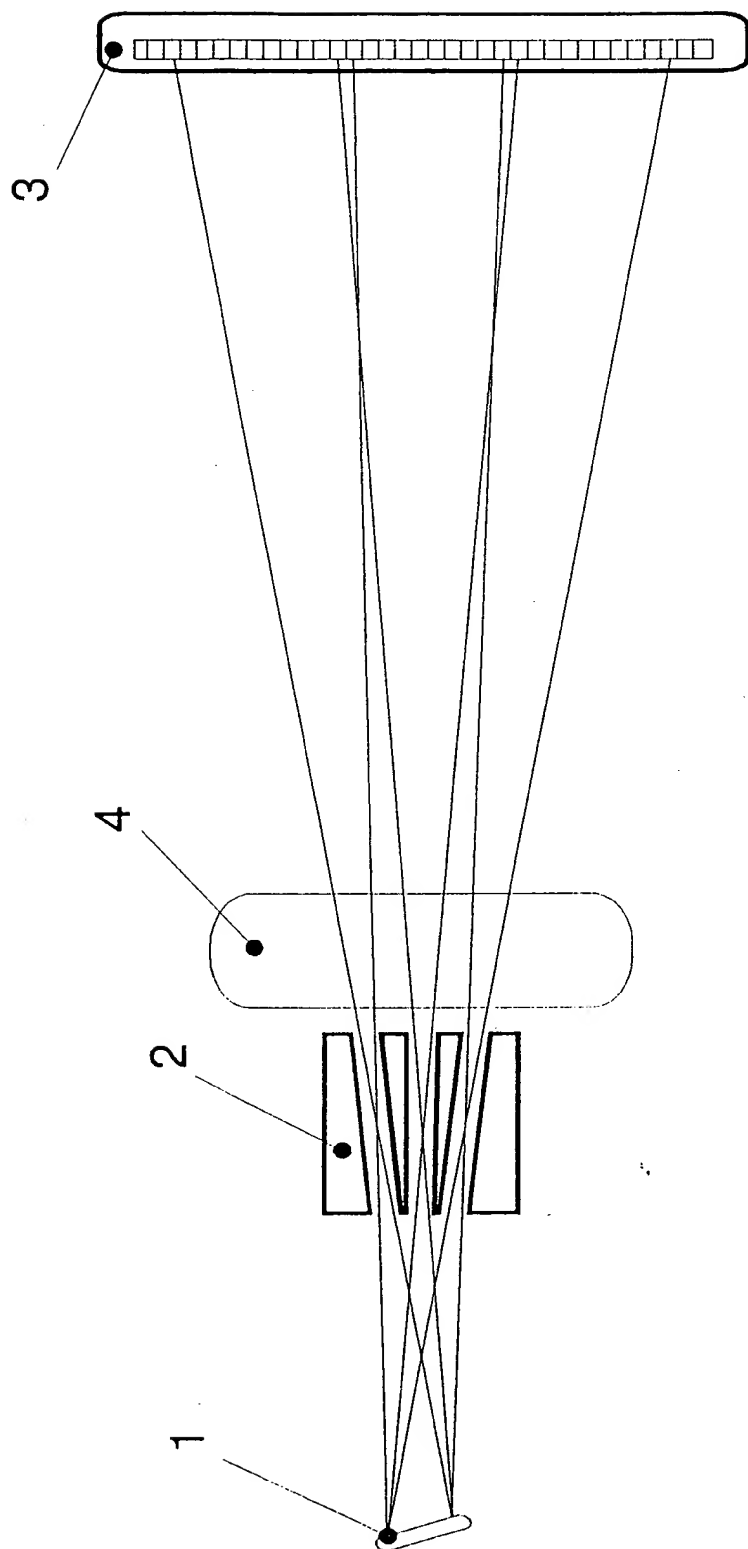


ФИГ.7





Фиг.8



Фиг. 9

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**